

Sam 10. 2. 2001



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

● **Offenlegungsschrift** ●  
⑩ **DE 100 43 896 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 S 5/04**  
H 01 S 5/065  
H 01 S 5/323

②1 Aktenzeichen: 100 43 896.2  
②2 Anmeldetag: 6. 9. 2000  
④3 Offenlegungstag: 26. 4. 2001

DE 100 43 896 A 1

③0 Unionspriorität:  
257531/99 10. 09. 1999 JP

⑦1 Anmelder:  
Fuji Photo Film Co., Ltd., Minami-Ashigara,  
Kanagawa, JP

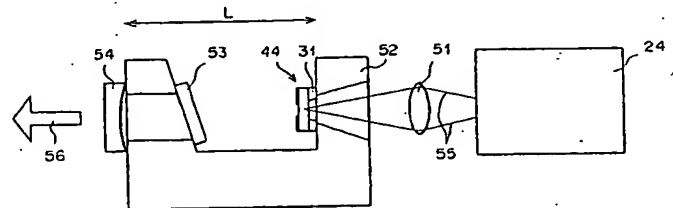
⑦4 Vertreter:  
Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

⑦2 Erfinder:  
Hayakawa, Toshiro, Kanagawa, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Laser mit durch Halbleiterelement angeregtem Oberflächenemissions-Halbleiter und unterdrückten Schwingungsmoden höherer Ordnung

⑤7 Eine Laservorrichtung enthält ein Halbleiter-Laserelement (24), ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement (44) und einen zweiten Spiegel (54). Das Halbleiter-Laserelement (24) emittiert erstes Laserlicht mit einer ersten Wellenlänge, von dem das oberflächenemittierende Halbleiterelement (44) angeregt wird, um zweites Laserlicht mit einer zweiten Wellenlänge, länger als die erste Wellenlänge, zu emittieren. Der erste Spiegel in dem oberflächenemittierenden Halbleiterelement befindet sich auf einer Seite einer ersten aktiven Schicht. Der zweite Spiegel (54) befindet sich außerhalb des oberflächenemittierenden Halbleiterelements (44), so daß der erste und der zweite Spiegel einen Resonator mit einer bestimmten Länge (L) bilden, in welchem das zweite Laserlicht schwingt. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement besitzt eine Struktur zum Steuern eines Raum-Mode des zweiten Laserlichts.



DE 100 43 896 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Laservorrichtung mit einem Halbleiter-Laserelement.

Üblicherweise besitzen zu schmalen Streifen ausgebildete Halbleiter-Laservorrichtungen mit einem einzigen Transversalmoden, welche Laserstrahlbündel hoher Qualität emittieren, den Nachteil einer etwa höchstens 200 bis 300 mW betragenden praktischen Ausgangsleistung. Hierfür gibt es zwei Gründe: der erste Grund ist das sogenannte Raumloch-Burning. Da die Rate der Ladungsträgerzufuhr zur Erzeugung von Laserlicht durch den Ladungsträger-Diffusionsprozeß bei hoher Ausgangsleistung beschränkt wird, nimmt die Ladungsträgerdichte in einem Bereich sehr hoher Laserstrahlintensität ab. Aufgrund des Raumloch-Burnings steigt der Brechungsindex des Halbleitermediums, und der Wellenleitermode wird durch die Zunahme des Brechungsindex abträglich beeinflusst. Damit verschlechtert sich die Qualität der Laserstrahlen, und in der Strom-Lichtabgabekennlinie gibt es Einbrüche. Der zweite Grund für den obigen Nachteil ist die hohe optische Ausgangsdichte. Wenn der Streifen eine Breite von 4 µm hat und der äquivalente Strahlbündeldurchmesser in der Richtung senkrecht zu dem Übergang 0,5 mm beträgt, so erreicht die optische Ausgangsdichte bei einer Ausgangsleistung von 300 mW einen Wert von 15 MW/cm<sup>2</sup>. Dies bedeutet eine hohe Belastung für das Halbleitermedium, derzufolge sich verschiedene Kennwerte der Halbleiterlaservorrichtung verschlechtern. Folglich ist es schwierig, einen zuverlässigen Schmalstreifen-Halbleiterlaser für Einzel-Transversalmoden zu erhalten, der Laserlicht hoher Ausgangsleistung liefert.

Um den oben angesprochenen ersten Grund zu beseitigen, wurden Versuche unternommen, die Wellenleiterstruktur zu optimieren. Um den obigen zweiten Grund auszuräumen, wurde außerdem die Schutzbeschichtung an den Stirnflächen optimiert, und es wurden Fensterstrukturen an den Stirnflächen entwickelt. Allerdings sind diese Methoden an ihre Grenzen gelangt. Um also einen Schmalstreifen-Halbleiterlaser für Einzel-Transversalmoden zu realisieren, der Laserlicht mit hoher Ausgangsleistung abgibt, muß man eine neue Modensteuermethode entwickeln und die optische Dichte durch Steigern der Lichtemissionsfläche verringern.

Es wurden verschiedene Versuche unternommen, eine Halbleiterlaservorrichtung zu realisieren, die räumlich kohärentes Laserlicht emittiert, und die darüber hinaus eine Ausgangsleistung von mehreren hundert Watt oder darüber liefert. Beispielsweise offenbaren Botez und Schifres in "Diode Laser Arrays", Cambridge Press, 1994, eine monolithische Struktur zur Realisierung eines Laserstrahlbündels hoher Qualität, außerdem ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Struktur. Allerdings sind Struktur und Fertigungsverfahren kompliziert.

Um Nachteile der herkömmlichen Halbleiterlaser mit Strominjektion zu überwinden, schlagen die US-Patente 5 461 637 und 5 627 853 Oberflächenemissions-Halbleiterlaser vor, die mit Licht angeregt werden. Da diese Halbleiterlaser jedoch von dem thermischen Linseneffekt Gebrauch machen, das heißt dem Effekt, daß sich die Brechungsindizes mit erhöhter Temperatur vergrößern, muß die Temperatur erhöht werden. Darüber hinaus sind die obigen Halbleiterlaser empfindlich für Temperaturverteilungen, der räumliche Schwingungsmodus ist instabil. Der räumliche Modus wird auch dann instabil, wenn die Ausgangsleistung hoch ist, da in der Ladungsträgerverteilung aufgrund der Erzeugung von Laserlicht hoher Leistung eine Ausnehmung entsteht (das heißt es kommt zu dem Raumloch-Burning), und weil die Brechungsindizes mit einer Steigerung der Anzahl

von Ladungsträgern aufgrund des sogenannten Plasmaeffekts sinken.

Darüber hinaus ist in Nakamura et al., "InGaN/GaN/Al-GaN-Based Laser Diodes Grown on GaAs substrate with a Fundamental Transverse Mode", Japanese Journal of Applied Physics Part 2 Letters, Vol. 37, 1998, S. L1020 ein kurzwelliger Halbleiterlaser auf InGaN-Basis offenbart. Allerdings ist es bei diesem Halbleiterlaser-Bauelement schwierig, Laserlicht hoher Ausgangsleistung in einem einzigen Transversalmoden zu emittieren.

Außerdem offenbart B. Pezeshki et al., "400 mW Single-Frequency 660 nm Semiconductor Laser", IEEE Photonics technology Letter, Vol. 11, S. 791, 1999 einen roten Al-GaInP-Halbleiterlaser. Allerdings sind bei diesem Halbleiterlaser ebenfalls höhere Qualität und höhere Ausgangsleistung notwendig.

Wie oben ausgeführt, ist es äußerst schwierig, eine Einzel-Transversalmoden-Schwingung hoher Ausgangsleistung in konventionellen Halbleiterlaservorrichtungen zu erreichen.

Andererseits ist es bei konventionellen Festkörperlaservorrichtungen mit Anregung durch Halbleiterlaser schwierig, eine Hochgeschwindigkeitsmodulation von Laserlicht durch direktes Modulieren von Halbleiter-Laserelementen zu erreichen, die als Anregungslichtquellen vorgesehen sind, da die Lebensdauer von Fluoreszenz, welche von die Festkörperlaserkristalle bildenden Seltenerd-elementen emittiert werden, sehr lang ist.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer zuverlässigen Laservorrichtung unter Verwendung eines Halbleiter-Laserelements, die im Grundmodus mit hoher Ausgangsleistung schwingt und eine Hochgeschwindigkeitsmodulation des abgegebenen Laserlichts ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird eine Laservorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 zur Lösung dieser Aufgabe geschaffen. Demnach schafft die Erfindung eine Laservorrichtung mit einem Halbleiter-Laserelement, welches erstes Laserlicht mit einer ersten Wellenlänge emittiert, mit einem oberflächenemittierenden Halbleiterelement, welches von dem ersten Laserlicht angeregt wird, zweites Laserlicht mit einer zweiten Länge, die länger als die erste Wellenlänge ist, emittiert, und eine erste aktive Schicht sowie einen auf einer Seite dieser ersten aktiven Schicht angeordneten ersten Spiegel aufweist; und mit einem zweiten Spiegel, der außerhalb des oberflächenemittierenden Halbleiterelements derart angeordnet ist, daß der erste und der zweite Spiegel einen Resonator bilden, in welchem das zweite Laserlicht schwingt. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement enthält eine Struktur zum Steuern eines Raum-Moden des zweiten Laserlichts.

Da das Ausgangssignal der Laservorrichtung gemäß der Erfindung von dem oberflächenemittierenden Halbleiterelement gewonnen wird, welches mit Laserlicht angeregt wird, welches seinerseits von einem Halbleiter-Laserelement emittiert wird, und die Struktur zum Steuern eines räumlichen Moden des zweiten Laserlichts durch das oberflächenemittierende Halbleiterelement gebildet wird, läßt sich die Instabilität des räumlichen Moden aufgrund des thermischen Linseneffekts oder des Plasmaeffekts wirksam unterdrücken. Aus diesem Grund ist es möglich, in stabiler Weise einen Grund-Transversalmoden in einem breiten Ausgangsbereich von geringer bis hin zu hoher Leistung aufrecht zu erhalten (insbesondere im Bereich hoher Ausgangsleistung), und außerdem hochqualitatives Laserlicht im Grund-Transversalmodus zu gewinnen.

Vorzugsweise kann die erfindungsgemäße Laservorrichtung auch eine oder mehrere der folgenden Merkmale oder Merkmalskombinationen aus den Merkmalen (i) bis (xii)

aufweisen:

(i) Die obige Struktur kann eine Größe aufweisen, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur aufspreizt, die zum Steuern des Raum-Modus des zweiten Laserlichts dient. In diesem Fall werden besonders die Kennlinie und die Strahlbündelform am Ausgang der Laservorrichtung verbessert.

(ii) Die Struktur läßt sich durch ein Nadelloch-Raumfilter realisieren, welches an einer Lichtaustritts-Stirnfläche des oberflächenemittierenden Halbleiterelements ausgebildet ist, ein Nadelloch (pinhole) besitzt und den Durchgang des von dem oberflächenemittierenden Halbleiterelement emittierten zweiten Laserlichts nur durch das Nadelloch hindurch ermöglicht. In diesem Fall ist es möglich, den Resonatorverlust in Moden höherer Ordnung stärker zu steigern als im Grundmode. Deshalb läßt sich die Schwingung in Moden höherer Ordnung wirksam unterdrücken, und man realisiert die resultierende Schwingung im Grund-Transversalmode.

(iii) Bei dem obigen Merkmal (ii) kann das Nadelloch eine Größe haben, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur aufspreizt.

(iv) Der zweite Spiegel kann eine begrenzte Fläche haben, parallel mit einer Lichtaustritts-Stirnfläche des oberflächenemittierenden Halbleiterelements angeordnet, um die oben angesprochene Struktur zum Steuern des Raum-Moden des zweiten Laserlichts zu realisieren. Da das Laserlicht im Grund-Transversalmode selektiv von dem zweiten Spiegel reflektiert werden kann, besteht die Möglichkeit, den Resonatorverlust in Moden höherer Ordnung stärker anzuheben als im Grundmode. Deshalb läßt sich die Schwingung in Moden höherer Ordnung wirksam unterdrücken, und man realisiert eine resultierende Schwingung im Grund-Transversalmode.

(v) Bei dem obigen Merkmal (iv) kann der Spiegel eine Größe haben, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur aufspreizt.

(vi) Die erste aktive Schicht kann in lediglich einem beschränkten Flächenbereich in einer Ebene parallel zu der Lichtaustritts-Stirnfläche des oberflächenemittierenden Halbleiterelements gebildet sein und die Struktur zum Steuern des räumlichen Moden des zweiten Laserlichts bilden.

(vii) Bei dem obigen Merkmal (vi) kann die beschränkte Fläche eine Größe haben, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur zum Steuern des räumlichen Moden des zweiten Laserlichts aufspreizt.

(viii) Die erfindungsgemäße Laservorrichtung kann außerdem eine Wellenlängenauswahleinrichtung aufweisen, die in dem Resonator angeordnet ist.

(ix) Die erfindungsgemäße Laservorrichtung kann außerdem eine Polarisationssteuereinrichtung aufweisen, die in dem Resonator angeordnet ist.

(x) Das Halbleiter-Laserelement kann eine zweite aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{v1}\text{Ga}_{1-v1}\text{N}$ -Material aufweisen, wobei die erste aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{v2}\text{Ga}_{1-v2}\text{N}$ -Material besteht, mit  $0 < v1 < v2 < 1$ .

(xi) Das Halbleiter-Laserelement kann eine zweite aktive Schicht aus einem  $\text{InGaInP}$ -Material haben, wobei die erste aktive Schicht aus einem  $\text{AlGaInP}$ - oder ei-

nem  $\text{GaInP}$ -Material bestehen kann.

(xii) Das Halbleiter-Laserelement kann eine zweite aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{w1}\text{Ga}_{1-w1}\text{As}$ -Material aufweisen, wobei die erste aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{w2}\text{Ga}_{1-w2}\text{As}$ -Material besteht, mit  $0 < w1 < w2 < 1$ .

Bei den obigen Merkmalen (x) bis (xii) bedeutet "ein XY-Material" ein Material, welches mindestens die Elemente X und Y enthält, wenn sowohl X als auch Y ein Symbol eines Elements ist.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittansicht eines Halbleiter-Laserelements, welches als Anregungslichtquelle in einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird;

Fig. 2A eine Querschnittansicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterelements, welches ebenfalls bei der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird;

Fig. 2B eine Draufsicht auf ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement, welches ebenfalls in der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung verwendet wird;

Fig. 3A ein Diagramm zum Veranschaulichen des Aufbaus der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung;

Fig. 3B ein Diagramm, welches den Aufbau der Laservorrichtung in einer Abwandlung der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 4 eine Querschnittansicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterelements, welches in einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird;

Fig. 5 ein Diagramm, welches den Aufbau der Laservorrichtung in der zweiten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht;

Fig. 6 eine Querschnittansicht eines Halbleiter-Laserelements, welches als Anregungslichtquelle in einer Laservorrichtung einer dritten Ausführungsform der Erfindung verwendet wird;

Fig. 7A eine Querschnittansicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterelements, welches in einer dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird;

Fig. 7B eine Draufsicht auf ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement, welches in der dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird;

Fig. 8 ein Diagramm, welches den Aufbau der dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung veranschaulicht;

Fig. 9A eine Querschnittansicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterelements in einer vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung;

Fig. 9B eine Draufsicht auf ein oberflächenemittierendes Halbleiterbauelement, welches in der vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird;

Fig. 10 ein Diagramm, welches den Aufbau der vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung veranschaulicht;

Fig. 11 eine Querschnittansicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterbauelements, welches in der fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung verwendet wird; und

Fig. 12 ein Diagramm, welches den Aufbau der fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung darstellt.

## Erste Ausführungsform

Als Anregungslichtquelle bei der ersten Ausführungsform der Erfindung wird ein Halbleiter-Laserelement eingesetzt, welches Laserlicht im 810-nm-Band emittiert. Fig. 1 ist eine Querschnittansicht dieses Halbleiterlasers, dessen Fertigung im folgenden näher erläutert wird.

Zunächst werden auf einen n-leitenden GaAs-(001)-Substrat 11 durch Organometall-Dampfphasen-Epitaxie nacheinander eine n-leitende GaAs-Pufferschicht 12, eine n-leitende  $\text{Al}_{0,63}\text{Ga}_{0,37}\text{As}$ -Mantelschicht 13, eine n-leitende oder i-leitende (eigenleitende (intrinsic)) InGaP-Optikwellenleiterschicht 14, eine aktive Einzel-Quantenloch-InGaAsP-Schicht 15, eine optische Wellenleiterschicht 16 aus p- oder i-leitendem InGaP, eine p-leitende  $\text{Al}_{0,63}\text{Ga}_{0,37}\text{As}$ -Mantelschicht 17 und eine p-leitende GaAs-Kappenschicht 18 gebildet. Anschließend werden Bereiche der p-leitenden GaAs-Kappenschicht 18 mit Ausnahme eines Streifenbereichs einer Breite von 100  $\mu\text{m}$  entsprechend einem Schwingungsstreifen durch Ätzen mittels eines Ammoniak-Ätzmittels entfernt, anschließend wird ein  $\text{SiO}_2$ -Isolationsfilm 19 gebildet. Dann wird ein auf dem oben angesprochenen Streifenbereich der p-leitenden GaAs-Kappenschicht 18 befindlicher Streifenbereich des  $\text{SiO}_2$ -Isolierfilms 19 entfernt, danach wird über diese Schichtstruktur eine p-Elektrode 20 gelegt. Danach wird das Substrat 100 poliert, und auf der polierten Fläche des Substrats 11 wird eine n-Elektrode 21 gebildet. Schließlich wird durch Spalten ein Resonator gebildet, und auf den jeweiligen Stirnflächen wird zur Komplettierung eines Resonators einerseits eine hoch reflektierende Beschichtung und andererseits eine schwach reflektierende Beschichtung ausgebildet. Dann wird der in Fig. 1 dargestellte Aufbau zu einem Chip geformt.

Fig. 2A und 2B zeigen eine Querschnittsansicht bzw. eine Draufsicht auf ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement, welches ebenfalls in der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird. Das in den Fig. 2A und 2B dargestellte Halbleiterelement wird angeregt mit Anregungslicht, welches von dem in Fig. 1 gezeigten Halbleiter-Laserelement 24 emittiert wird, und es schwingt in einem einzigen Transversalmoden. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement für die erste Ausführungsform der Erfindung wird folgendermaßen hergestellt:

Zunächst wird durch Organometall-Dampfphasen-Epitaxie auf einem GaAs-(001)-Substrat 31 eine Folge von Schichten gebildet, nämlich eine GaAs-Pufferschicht 32, eine  $\text{GaAs}/\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -Schicht als mehrlagiges optisches Filter (Bragg-Reflexionsspiegel) 33, eine optische GaAs-Begrenzungs-schicht 34, eine aktive Mehrfach-Quantenloch-Schicht aus  $\text{GaAs}/\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ , eine optische Begrenzungs-schicht 36 aus GaAs und eine  $\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -Ladungsträger-Begrenzungs-schicht 37.

Sodann wird auf der  $\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -Ladungsträger-Begrenzungs-schicht 37 ein  $\text{SiO}_2$ -Antireflexionsfilm 38 durch Elektronenstrahlaufdampfung oder dergleichen gebildet. Danach wird gemäß Fig. 2B durch ein Abhebeverfahren unter Einsatz der Elektronenstrahlverdampfung und der Photoresist-Musterbildung gemäß Fig. 2B auf dem  $\text{SiO}_2$ -Antireflexfilm 38 ein Ti-Film 39 mit einem Durchmesser von 0,4 mm aufweisenden Nadelloch in seiner Mitte gebildet. Danach wird das GaAs-Substrat 31 poliert, und solche Zonen des GaAs-Substrats 31 und der GaAs-Pufferschicht 32, die breiter als eine Schwingungszone des Oberflächenemissions-Halbleiterbauelements sind, werden durch selektives Ätzen entfernt, so daß ein Loch gebildet wird, welches den Durchgang von Anregungs-Laserlicht erleichtert. Als nächstes wird zur Abdeckung der Innenfläche des Hohlraums ein  $\text{SiO}_2$ -Film 40 gebildet, der als Antireflexfilm für das eine

Wellenlänge von 810 nm aufweisende Anregungs-Laserlicht fungiert. Schließlich wird die in der oben erläuterten Weise gebildete Schichtstruktur gespalten und zu einem Chip ausgebildet.

Das oben angesprochene, mehrlagige Filter aus  $\text{GaAs}/\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$  (Bragg-Reflexionsspiegel) 33 ist derart ausgestaltet, daß es einen hohen Reflexionsgrad von 90% oder mehr bei der Schwingungswellenlänge von 980 nm, und einen geringen Reflexionsgrad von 5% oder weniger bei der Wellenlänge von 810 nm, also der Wellenlänge des Anregungs-Laserlichts aufweist. Beispielsweise kann das mehrlagige optische Filter 33 etwa zwanzig Paare von GaAs- und  $\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -Schichten mit jeweils einer Dicke aufweisen, die einer viertel Wellenlänge entspricht, welche länger als die Schwingungswellenlänge ist.

Fig. 3A ist ein schematisches Diagramm des Aufbaus der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung.

Die Laservorrichtung nach Fig. 3A enthält das Halbleiter-Laserelement 24 als Anregungs-Lichtquelle, eine Wärmesenke 52 mit Öffnungen, das mit der Wärmesenke 52 an der Oberfläche des Substrats 31 angebondete oberflächenemittierende Halbleiterelement 44, einen konkaven Spiegel 54 als Ausgangsspiegel, einen externen Resonator (mit der Resonatorlänge L), gebildet durch eine konkave Fläche des konkaven Spiegels 54 und das mehrlagige optische  $\text{GaAs}/\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -Filter des oberflächenemittierenden Halbleiterelements 44, und ein in dem äußeren Resonator 57 angeordnetes Wellenlängen-Auswahlelement 53. Das mehrlagige optische  $\text{GaAs}/\text{Al}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}$ -Filter 33 fungiert als Spiegel.

Bei dem Aufbau nach Fig. 3A wird Anregungs-Laserlicht 55, welches von dem Halbleiter-Laserelement 24 abgegeben wird, durch die Linse 51 in die Halbleiterschichten des oberflächenemittierenden Halbleiterelements 44 gesammelt und wird dann effizient in den optischen Begrenzungs-schichten 34, 36 und der aktiven Mehrfachquantenloch-Schicht 35 aus  $\text{GaAs}/\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$  absorbiert, um das oberflächenemittierende Halbleiterelement 44 anzuregen. Von dem Element 44 emittiertes Licht gerät innerhalb des externen Resonators 57 in Resonanz, und über den Ausgangsspiegel 54 wird Laserlicht 56 mit einer Wellenlänge von etwa 980 nm abgegeben.

Wegen des Vorhandenseins der Wärmesenke 52 läßt sich durch das oberflächenemittierende Halbleiterelement 44 gebildete Wärme ableiten.

Alternativ läßt sich die Einfallrichtung des Anregungs-Laserlichts 55 aus dem Halbleiter-Laserelement 44 neigen, wie dies in Fig. 3B dargestellt ist, um aus dem äußeren Resonator 57 zu dem Halbleiter-Laserelement 24 zurückgeworfenes Licht zu unterdrücken.

Gemäß der Ausgestaltung dieser Ausführungsform beträgt der Durchmesser des Strahls an der Stelle des Nadelloch-Raumfilters 0,3 mm, wenn das Strahlbündeldurchmesser definiert ist als der Durchmesser eines aufgespreizten Strahlbüschels, innerhalb dessen die Intensität des Strahlbüschels  $1/e^2$  oder mehr der Spitzenintensität beträgt. Um Laserlicht, welches durch Schwingungen höherer Moden erzeugt wird und breit streut, zu unterdrücken, wird der Durchmesser des in dem Ti-Film ausgebildeten Nadellochs auf 0,4 mm eingestellt. Wenngleich die Beherrschbarkeit des Raum-Moden bei Abnahme des Nadelloch-Durchmessers verbessert wird, nimmt dennoch auch die Menge des Laserlichts des Grundmoden, für das der Ti-Film eine Blende darstellt, zu, das heißt der Verlust steigt, wenn das Nadelloch zu klein ist. Deshalb ist es bevorzugt, wenn der Durchmesser des Nadellochs dem 0,1- bis 10-fachen des Strahlbündeldurchmessers entspricht.

Das Wellenlängen-Auswahlelement 53 ist in dem äußeren

Resonator 57 angeordnet, um das Schwingen in einem einzigen Longitudinal-Mode zu erreichen, wobei es sich um ein Lyot-Filter oder ein Etalon handelt. Darüber hinaus läßt sich eine Mehrzahl von Lyot-Filtern oder Etalons innerhalb des äußeren Resonators 57 anordnen.

Um Polarisation zu steuern, kann man in dem äußeren Resonator 57 eine Brewster-Platte anordnen.

Die Laservorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform weist folgende Vorteile auf:

(a) Bei dem Laser nach Fig. 3A oder 3B ist es möglich, eine Hochgeschwindigkeitsmodulation des ausgegebenen Laserlichts durch direktes Modulieren des Halbleiter-Laserelements 24 zu erreichen, während die Hochgeschwindigkeitsmodulation bei dem herkömmlichen Festkörperlaser schwierig ist.

(b) Da das Halbleiter-Laserelement 24 ein Laserelement großflächiger Bauart sein kann, wie es oben in Verbindung mit Fig. 1 beschrieben wurde, kann das Halbleiter-Laserelement 24 Laserlicht mit hoher Ausgangsleistung (zum Beispiel 1 bis 10 Watt) abgeben. Deshalb können die Laser nach Fig. 3A und 3B Laserlicht mit hunderten von Milliwatt bis zu einigen Watt emittieren. Beispielsweise beträgt die Strahlbündelfläche in dem breitflächigen Halbleiter-Laserelement  $(0,15 \text{ mm})^2 \times \pi = 70.650 \mu\text{m}^2$ , während die Strahlbündelflächen in den oben angesprochenen Schmalstreifen-Halbleiterlasern für Einzel-Transversalmodus etwa  $2 \mu\text{m}^2$  betragen. Das heißt: die Strahlbündelfläche des breitflächigen Halbleiter-Laserelements ist um das  $10^4$ -fache größer als die Strahlbündelfläche von Schmalstreifen-Halbleiterlasern für Einzel-Transversalmoden.

(c) Das oberflächenemittierende Halbleiterelement der ersten Ausführungsform wird mit Licht angeregt und unterscheidet sich deshalb von den gewöhnlichen Halbleiter-Laserelementen, die durch Strominjektion betrieben werden, so daß das oberflächenemittierende Halbleiterelement 44 frei von Wärmezeugung ist und dementsprechend frei von einer Abnahme des Wirkungsgrads aufgrund der Zunahme des elektrischen Widerstands in mehrlagigen Halbleiter-Reflexionsspiegeln und dergleichen. Wenngleich die herkömmlichen oberflächenemittierenden Halbleiterelemente zur Reduzierung des elektrischen Widerstands in mehrlagigen Halbleiter-Reflexionsspiegeln oder dergleichen einen komplizierten Aufbau besitzen mußten (beispielsweise mußten sie eine lokale Dotierung oder eine Anordnung einer Schicht mit minderer Zusammensetzung zwischen den Schichten eines mehrlagigen optischen Filters aufweisen), erfordert das mit Licht angeregte oberflächenemittierende Halbleiterelement keinen derart komplizierten Aufbau und läßt sich folglich in einfacher Weise fertigen.

(d) Das mit Licht angeregte oberflächenemittierende Halbleiterelement unterscheidet sich außerdem von den durch Strominjektion betriebenen üblichen Halbleiter-Laserelementen dadurch, daß das mit dem Licht angeregte Halbleiterelement nicht unter dem Problem abträglicher Alterungserscheinungen durch Kurzschlußströme leidet, welche durch Diffusion von Dotierstoffen, beispielsweise Magnesium, verursacht werden. Die Lebensdauer der in den Fig. 3A und 3B dargestellten Laservorrichtungen ist also beträchtlich lang.

#### Zweite Ausführungsform

Fig. 4 ist eine Querschnittansicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterelements, welches in der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird. Das in Fig. 4 gezeigte Halbleiterelement wird angeregt durch Anregungs-Laserlicht, das von dem in Fig. 1 gezeigten Halbleiterelement 24 emittiert wird, und es schwingt bei einer Wellenlänge von 980 nm. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement für die zweite Ausführungsform wird folgendermaßen hergestellt:

Durch Organometall-Dampfphasen-Epitaxie wird in einem ersten Prozeß zunächst auf einem GaAs-(001)-Substrat 61 eine Folge von Schichten gebildet, nämlich eine GaAs-Pufferschicht 62, ein Bragg-Reflexionsspiegel 63, eine optische Begrenzungsschicht 64 aus GaAs und eine aktive Mehrfachquantenloch-Schicht 65 aus GaAs/In<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As. Der Bragg-Reflexionsspiegel 63 besteht aus zwanzig Paaren von GaAs- und Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As-Schichten, wobei die GaAs-Schicht in jedem Paar eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{GaAs}}$ , die Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As-Schicht in jedem Paar eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{Al}_0,7\text{Ga}_0,3\text{As}}$  aufweist, wobei  $\lambda$  die Schwingungswellenlänge des oberflächenemittierenden Halbleiterelements nach Fig. 4 ist und  $n_{\text{GaAs}}$  und  $n_{\text{Al}_0,7\text{Ga}_0,3\text{As}}$  die Brechungsindizes von GaAs bzw. Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As bei der Schwingungswellenlänge von  $\lambda$  sind. Als nächstes wird mit einem Gemisch aus Schwefelsäure, Wasserstoffperoxid und Wasser die aktive Mehrfachquantenloch-GaAs/In<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>As-Schicht 65 chemisch geätzt, so daß ein zylindrischer Abschnitt der Schicht 65 mit einem Durchmesser von etwa 0,5 mm verbleibt. Dieses Ätzen durchdringt die gesamte Dicke der aktiven Mehrfachquantenloch-Schicht 65 aus GaAs/In<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>As, oder geht nur bis zu einer Teil-Tiefe innerhalb der Dicke der Schicht 65. Das Ätzen kann bis zu einer Tiefe erfolgen, die einen Teil der Dicke der optischen Begrenzungsschicht 64 aus GaAs beinhaltet. Anschließend werden über der so gebildeten Struktur eine optische Begrenzungsschicht aus GaAs, 66 und eine Ladungsträger-Begrenzungsschicht 67 aus Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As gebildet, und zwar im Rahmen eines zweiten Prozeßabschnitts der Organometall-Dampfphasen-Epitaxie. Anschließend wird auf der Ladungsträger-Begrenzungsschicht 67 durch Elektronenstrahlaufdampfung oder dergleichen eine eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{SiO}_2}$  aufweisende Anti-reflexionsschicht 68 aus SiO<sub>2</sub> gebildet, wobei  $n_{\text{SiO}_2}$  der Brechungsindex von SiO<sub>2</sub> bei der Schwingungswellenlänge  $\lambda$  ist. Schließlich wird die Rückseite des GaAs-Substrats 61 poliert, und der Aufbau nach Fig. 4 wird gespalten und zu einem Chip ausgebildet. Im Gegensatz zu der ersten Ausführungsform wird kein Bereich des GaAs-Substrats 61 und der GaAs-Pufferschicht 62 entfernt.

Fig. 5 ist eine schematische Darstellung des Aufbaus der zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung.

Die Laservorrichtung nach Fig. 5 enthält das Halbleiter-Laserelement 24 als Anregungslichtquelle, eine Wärmesenke 82, das auf die Wärmesenke 82 an der Oberfläche des Substrats 62 angebondete oberflächenemittierende Halbleiterelement 74, einen als Ausgangsspiegel fungierenden konkaven Spiegel 64, wobei durch eine konkave Fläche des konkaven Spiegels 64 und den Bragg-Reflexionsspiegel 63 des Halbleiterelements 74 ein äußerer Resonator 87 gebildet wird, und eine Brewster-Platte 63 in dem äußeren Resonator (Resonatorlänge L) zum Steuern der Polarisation.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Aufbau wird Anregungs-Laserlicht von dem Halbleiter-Laserelement 24 durch die Linse 81 in Halbleiterschichten des oberflächenemittierenden Halbleiterelements 74 gesammelt und regt das Halbleiterelement an. Dann gerät von dem Halbleiterelement 74 emittiertes Licht innerhalb des äußeren Resonators in Resonanz, und es schwingt Laserlicht 86 im 980-nm-Band an, welches über den Ausgangsspiegel 84 ausgegeben wird.

Da die vordere Seite (abgewandt von dem GaAs-Substrat 61) der aktiven Schicht des oberflächenemittierenden Halbleiterelements 74 gegenüber dem Anregungs-Laserlicht nicht abgeschirmt ist, wird das Halbleiterelement 74 von der Vorderseite her angeregt.

Da außerdem die aktive Schicht in einem Bereich ausgebildet ist, der kleiner ist als die Gesamtfläche des oberflächenemittierenden Halbleiterelements 74, die einem Strahlbündeldurchmesser entspricht, ist es möglich, die Schwingung in Transversalmoden höherer Ordnung zu unterdrücken und ein stabiles Schwingen im Grund-Transversalmode zu erreichen.

Da außerdem die gesamte Oberfläche des Substrats des Halbleiterelements 74, das heißt die Stirnfläche des Halbleiterelements 74, die näher an der aktiven Schicht liegt, von der Wärmesenke 82 gehalten wird, läßt sich die von dem Halbleiterelement 74 entwickelte Wärme effizient ableiten. Deshalb gestattet die Anordnung der Wärmesenke 82 gemäß Fig. 5 die Ausgabe von Laserlicht hoher Leistung durch das Halbleiterelement 74.

### Dritte Ausführungsform

Das Halbleiter-Laserelement, welches Laserlicht im 370-nm-Band emittiert, wird bei der dritten Ausführungsform als Anregungslichtquelle eingesetzt. Fig. 6 ist eine Querschnittansicht des Halbleiterlasers. Das als Anregungslichtquelle bei der dritten Ausführungsform verwendete Halbleiter-Laserelement wird folgendermaßen hergestellt:

Zunächst wird gemäß dem Verfahren, wie es von Nakamura et al. offenbart ist "InGaN/GaN/AlGaIn-Based Laser Diodes Grown on GaAs Substrate with a Fundamental Transverse Mode", Japanese Journal of Applied Physics Part 2 Letters, Vol. 37, 1998, S. L1020, offenbart ist, ein n-leitendes GaN-(0001)-Substrat 91 gebildet. Anschließend wird auf diesem Substrat 91 durch Organometall-Dampfphase-Epitaxie eine Reihe von Schichten ausgebildet, nämlich eine Supergitter-Mantelschicht 92 aus n-leitendem  $\text{Ga}_{1-z_1}\text{Al}_{z_1}\text{N}/\text{GaN}$  als Schicht 92 ( $0 < z_1 < 1$ ), eine n- oder i-leitende (eigenleitende) optische Wellenleiterschicht 93 aus  $\text{Ga}_{1-z_2}\text{Al}_{z_2}\text{N}$  ( $z_1 > z_2 > 0$ ), eine aktive Mehrfachquantenloch-Schicht 94 aus (mit 51 dotiertem)  $\text{Ga}_{1-z_4}\text{Al}_{z_4}\text{N}/\text{In}_{x_0}\text{Ga}_{1-x_0}\text{N}$  ( $z_4 > 0$ ,  $x_0 \geq 0$ ), eine p-leitende Ladungsträger-Begrenzungsschicht 95 aus  $\text{Ga}_{1-z_3}\text{Al}_{z_3}\text{N}$  ( $0,35 > z_3 > z_2$ ), eine p- oder i-leitende optische Wellenleiterschicht 96 aus  $\text{Ga}_{1-z_2}\text{Al}_{z_2}\text{N}$ , eine p-leitende Supergitter-Mantelschicht 97 aus  $\text{Ga}_{1-z_1}\text{Al}_{z_1}\text{N}/\text{GaN}$  ( $0 < z_1 < 1$ ), und eine p-leitende GaN-Kontaktschicht 98. Anschließend wird über der p-GaN-Kontaktschicht 98 ein  $\text{SiO}_2$ -Isolierfilm 99 gebildet, und es wird durch normale Lithographieverfahren ein Streifenbereich des  $\text{SiO}_2$ -Isolierfilms 99 mit einer Breite von etwa 100  $\mu\text{m}$  entfernt. Anschließend wird über der so gebildeten geschichteten Struktur eine p-Elektrode 100 gebildet. Ferner wird die Rückseite des Substrats 100 poliert, und auf der polierten Fläche des Substrats 91 wird eine n-Elektrode 101 ausgebildet. Schließlich wird durch Spalten ein Resonator gebildet, wobei auf den jeweiligen Stirnflächen zur Vervollständigung eines Resonators eine hoch reflektierende Beschichtung bzw. eine schwach reflektierende Beschichtung gebildet werden, woraufhin der Aufbau nach Fig. 6 als Chip ausgebildet wird.

Fig. 7A und 7B sind eine Querschnittansicht bzw. eine Draufsicht auf ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement, welches ebenfalls bei der dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement nach Fig. 7A und 7B wird angeregt durch Anregungs-Laserlicht, das von dem in Fig. 6 dargestellten Halbleiter-Laserelement 104

abgestrahlt wird, und es schwingt in einem einzelnen Transversalmode. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement der dritten Ausführungsform wird folgendermaßen hergestellt:

Zunächst wird auf einem GaN-(0001)-Substrat 111 durch Organometall-Dampfphasen-Epitaxie eine Folge aus einem Bragg-Reflexionsfilm 112, einer optischen GaN-Begrenzungsschicht 113, einer aktiven Mehrfachquantenloch-Schicht 114 aus  $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}/\text{In}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$  ( $0 < x_2 < x_3 < 0,5$ ), einer optischen Begrenzungsschicht 115 aus GaN und einer Ladungsträger-Begrenzungsschicht 116 aus  $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{N}$  ( $x_4 > 0$ ) gebildet, wobei der Bragg-Reflexionsfilm 112 aus zwanzig Paaren von GaN- und AlN-Schichten besteht, von denen jede GaN-Schicht eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{GaN}}$  aufweist, während die AlN-Schicht in jedem Paar eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{AlN}}$  besitzt,  $\lambda$  eine Schwingungswellenlänge des oberflächenemittierenden Halbleiterelements nach Fig. 7A und 7B ist und  $n_{\text{GaN}}$  und  $n_{\text{AlN}}$  die Brechungsindizes von GaN und AlN bei der Schwingungswellenlänge  $\lambda$  sind. Als nächstes wird über der Ladungsträgerbegrenzungsschicht 116 aus  $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{N}$  durch Elektronenstrahlverdampfung oder dergleichen ein  $\text{ZrO}_2$ -Antireflexfilm 117 mit einer Dicke von  $\lambda/4n_{\text{ZrO}_2}$  gebildet, wobei  $n_{\text{ZrO}_2}$  der Brechungsindex von  $\text{ZrO}_2$  bei der Schwingungswellenlänge  $\lambda$  ist. Dann wird gemäß Fig. 7B durch einen ähnlichen Prozeß wie bei der ersten Ausführungsform auf dem  $\text{ZrO}_2$ -Antireflexfilm 117 ein Ti-Film 118 mit einem Nadelloch in seiner Mitte gebildet. Anschließend wird die Rückseite des GaAs-Substrats 111 poliert, und auf der polierten Fläche des Substrats wird eine weitere  $\text{ZrO}_2$ -Schicht 119 gebildet, welche als Antireflexfilm bei der Wellenlänge (370 nm) des Anregungs-Laserlichts fungiert. Schließlich wird die Schichtstruktur gespalten und zu einem Chip ausgebildet.

Fig. 8 zeigt den Aufbau der dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung.

Die Laservorrichtung nach Fig. 8 enthält das Halbleiter-Laserelement 104 als Anregungs-Lichtquelle, eine Öffnungen aufweisende Wärmesenke 132, auf der das Halbleiterelement 124 mit der Substratoberfläche 111 angebunden ist, einen Konkavspiegel 134 als Ausgangsspiegel, einen äußeren Resonator 137, gebildet durch eine konkave Fläche des Konkavspiegels 134 und den Bragg-Reflexionsfilm 112 des oberflächenemittierenden Halbleiterelements 124, und ein Wellenlängenauswahlelement 133, welches in dem äußeren Resonator 137 angeordnet ist.

Bei dem Aufbau nach Fig. 8 wird aus dem Halbleiter-Laserelement 104 stammendes Anregungs-Laserlicht von der Linse 131 in den Halbleiterschichten des Halbleiterelements 124 gesammelt und regt dieses an. Das von dem oberflächenemittierenden Halbleiterelement 124 emittierte Licht gelangt in dem äußeren Resonator (Resonatorlänge L) zur Resonanz. Hierdurch schwingt Laserlicht 136 mit einer Wellenlänge von 400 bis 550 nm an, welches über den Ausgangsspiegel 134 austritt.

Da das GaN-Substrat 111 für das Anregungs-Laserlicht transparent ist, kann man das Halbleiterelement 119 durch das GaN-Substrat 111 hindurch anregen. Bei einem Saphir-Substrat anstelle des GaN-Substrats kann das Anregungs-Laserlicht auch über das Saphir-Substrat auf das Halbleiterelement gegeben werden, da das Saphir-Substrat für das Anregungs-Laserlicht transparent ist.

Da außerdem die Wärmeleitfähigkeiten von GaN und Saphir beträchtlich sind, kann die durch das Halbleiterelement erzeugte Wärme einfach abgeleitet werden, wenn die Wärmesenke 132 in der in Fig. 8 dargestellten Weise angeordnet wird.

Außerdem ist die Strahlbündelverformung aufgrund des thermischen Linseneffekts äußerst gering.



Alternativ kann das oberflächenemittierende Halbleiterelement eine aktive Quantenloch-Schicht aus InGaAs auf einem GaAs-Substrat aufweisen, um Laserlicht im Wellenlängenbereich von etwa 900 bis 1200 nm zu emittieren, oder es kann auf einem InP-Substrat eine aktive Quantenloch-Schicht aus InGaAsP oder aus InGaAlAs gebildet sein, um Laserlicht im Wellenlängenbereich von etwa 1300 bis 1700 nm zu emittieren. Da GaAs und InP für Schwingungswellenlängen transparent sind, ist es möglich, ein solches oberflächenemittierendes Halbleiterelement von der Substratseite her anzuregen, wenn die Anregungslichtquelle Laserlicht emittiert, für welches die oben angesprochenen Substrate transparent sind und die aktiven Schichten selbst sowie die optischen Begrenzungs- oder Barrierenschichten, die die aktive Schicht des Halbleiterelements umgeben, solche Zusammensetzungen und eine solche Struktur aufweisen, daß das Anregungs-Laserlicht effektiv von der aktiven Schicht absorbiert wird.

#### Vierte Ausführungsform

Fig. 9A und 9B sind eine Querschnittansicht bzw. eine Draufsicht eines oberflächenemittierenden Halbleiterelements, welches für die vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung verwendet wird. Das in den Fig. 9A und 9B dargestellte Halbleiterelement wird von Anregungs-Laserlicht angeregt, welches von dem Halbleiter-Laserelement 104 nach Fig. 6 emittiert wird. Das oberflächenemittierende Halbleiterelement für die vierte Ausführungsform wird folgendermaßen hergestellt:

Zunächst werden auf einem GaN-Substrat 141 eine Ladungsträgerbegrenzungsschicht 142 aus  $\text{Al}_{z4}\text{Ga}_{1-z4}\text{N}$  ( $0 < z4 < 1$ ), eine optische Begrenzungsschicht 143 aus GaN, eine aktive Mehrfachquantenloch-Schicht 144 aus  $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}/\text{In}_{x3}\text{Ga}_{1-x3}\text{N}$  ( $0 < x2 < x3 < 0,5$ ), eine optische Begrenzungsschicht 145 aus GaN, eine Halbleiter-Mehrfachschicht 146 und eine dielektrische Mehrfachschicht 147 gebildet, wobei die Halbleiter-Mehrfachschicht 146 sich aus zwanzig Paaren von AlN- und GaN-Schichten zusammensetzt und die dielektrische Mehrfachschicht 147 sich aus zwölf Paaren von  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{ZrO}_2$ -Schichten zusammensetzt. Die AlN-Schicht in jedem Paar von Halbleiter-Mehrfachschichten 146 hat eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{AlN}}$ , die GaN-Schicht in jedem Paar der Halbleiter-Mehrfachschichten 146 besitzt eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{GaN}}$ , die  $\text{SiO}_2$ -Schicht in jedem Paar dielektrischer Mehrfachschichten 147 besitzt eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{SiO}_2}$ , und die  $\text{ZrO}_2$ -Schicht in jedem Paar dielektrischer Mehrfachschichten 147 besitzt eine Dicke von  $\lambda/4n_{\text{ZrO}_2}$ , wobei  $\lambda$  die Schwingungswellenlänge des oberflächenemittierenden Halbleiterelements nach Fig. 9A und 9B ist und  $n_{\text{AlN}}$ ,  $n_{\text{GaN}}$ ,  $n_{\text{SiO}_2}$  und  $n_{\text{ZrO}_2}$  die Brechungsindizes von AlN, GaN,  $\text{SiO}_2$  bzw.  $\text{ZrO}_2$  bei der Schwingungswellenlänge  $\lambda$  sind. Die Halbleiter-Mehrfachschicht 146 und die dielektrische Mehrfachschicht 147 realisieren einen Bragg-Reflexionsspiegel.

Als nächstes werden die Halbleiter-Mehrfachschicht 146 und die dielektrische Mehrfachschicht 147 trocken geätzt, so daß sie eine abgerundete Form haben, wie dies in den Fig. 9A und 9B gezeigt ist. Der Bragg-Reflexionsspiegel hat also eine runde Gestalt. Anschließend wird die Rückseite des GaAs-Substrats 141 poliert, und es wird ein Antireflexfilm 148, der für Laserlicht der Schwingungswellenlänge  $\lambda$  transparent ist, auf der polierten Fläche des GaAs-Substrats 141 gebildet. Schließlich wird die so gebildete geschichtete Struktur gespalten und zu einem Chip ausgebildet.

Fig. 10 zeigt den Aufbau der Laservorrichtung nach der vierten Ausführungsform der Erfindung.

Die Laservorrichtung nach Fig. 10 enthält das Halbleiter-

Laserelement 104 als Anregungs-Lichtquelle, eine Wärmesenke 162, das an der Fläche des Bragg-Reflexionsspiegels auf die Wärmesenke 162 gebondete, oberflächenemittierende Halbleiterelement 154, einen Konkavspiegel 164 als Ausgangsspiegel, einen durch eine Konkavoberfläche des Konkavspiegels 164 und den Bragg-Reflexionsspiegel des Halbleiterelements 154 gebildeten äußeren Resonator 167 und ein darin angeordnetes Wellenlängenauswahlelement 163.

In der in Fig. 10 gezeigten Laservorrichtung wird das von dem Halbleiter-Laserelement 104 emittierte Anregungs-Laserlicht von der Linse 161 in den Halbleiterschichten des Halbleiterelements 154 gesammelt, um dieses Halbleiterelement 154 anzuregen. Dann schwingt von dem Halbleiterlaser 154 emittiertes Licht in dem äußeren Resonator (Resonatorlänge L). Damit läßt sich über den Ausgangsspiegel 164 Laserlicht 166 im Wellenlängenbereich von 400 bis 550 nm gewinnen.

Da der oben angesprochene Bragg-Reflexionsspiegel, der aus der Halbleiter-Mehrfachschicht 146 und der dielektrischen Mehrfachschicht 147 gebildet wird, in selektiver Weise starkes Reflexionsvermögen bei der Wellenlänge aufweist, die einem Grund-Transversalmode entspricht, und er außerdem nur in dem begrenzten (runden) Bereich ausgebildet ist, wird der Raum-Mode der Laserschwingung in der in Fig. 10 gezeigten Laservorrichtung durch die Ausgestaltung des Bragg-Reflexionsspiegels gesteuert.

#### Fünfte Ausführungsform

Fig. 11A und 11B sind eine Querschnittansicht bzw. eine Draufsicht auf ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement, das in einer fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung eingesetzt wird. Es wird für die fünfte Ausführungsform folgendermaßen hergestellt:

Zunächst wird auf einem GaAs-(001)-Substrat 171 eine Folge von Schichten gebildet, nämlich eine GaAs-Pufferschicht 172, eine  $\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x5}\text{Al}_{x5})_{0,5}\text{P}$ -Ladungsträgerbegrenzungsschicht 173, eine optische Begrenzungsschicht 174 aus  $\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x2}\text{Al}_{x2})_{0,5}\text{P}$ , eine aktive Mehrfachquantenloch-Schicht 175 aus  $\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x3}\text{Al}_{x3})_{0,5}\text{P}/\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x4}\text{Al}_{x4})_{0,5}\text{P}$ , eine optische Begrenzungsschicht 176 aus  $\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x2}\text{Al}_{x5})_{0,5}\text{P}$  und eine Ladungsträgerbegrenzungsschicht 177 aus  $\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x5}\text{Al}_{x5})_{0,5}\text{P}$ , wobei bevorzugt die Beziehungen  $0 \leq x3 < x4 \leq x2 < x5 \leq 1$  und  $x3 < x1 < 1$  gelten. Anschließend wird durch Elektronenstrahlverdampfung eine Ladungsträgerbegrenzungsschicht 177 aus  $\text{In}_{0,5}(\text{Ga}_{1-x5}\text{Al}_{x5})_{0,5}\text{P}$  ein mehrlagiges optisches Filter 178 aus  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  gebildet.

Als nächstes wird das Substrat 171 poliert, und Zonen des GaAs-Substrats 171 und der GaAs-Pufferschicht 172, die breiter sind als eine Emissionszone des oberflächenemittierenden Halbleiterelements, werden durch Ätzen mit einem Schwefelsäure-Ätzmittel entfernt, so daß ein hohler erleichterter Durchgang für Laserlicht (das heißt Laserlicht, welches in dem externen Resonator 197 schwingt) gebildet wird. Sodann wird ein Antireflexfilm 179, der für das Schwingungs-Laserlicht transparent ist, derart gebildet, daß er die Innenfläche des Hohlraums abdeckt. Schließlich wird auf dem Antireflexfilm 179 ein ein Nadelloch aufweisender Ti-Film 180 gebildet, wobei das Nadelloch zum Steuern des Raum-Mode dient. Auf diese Weise wird ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement 184 vervollständigt, bei dem es sich um ein rotes Licht emittierendes Halbleiterelement 184 handelt, welches Laserlicht 650-nm-Band emittiert.

Fig. 12 ist ein Diagramm, welches den Aufbau der fünf-

ten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laservorrichtung veranschaulicht.

Die Laservorrichtung nach Fig. 12 enthält ein Halbleiter-Laserelement 190 als Anregungslichtquelle, eine mit Öffnungen versehene Wärmesenke 192, an der mit der Fläche des aus  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  bestehenden optischen Mehrschicht-Filteranordnung 178 das Halbleiterelement 184 angebunden ist, einen Konkavspiegel 194 als Ausgangsspiegel, einen äußeren Resonator 197, der durch eine konkave Fläche des Konkavspiegels 194 und das mehrschichtige optische Filter 178 aus  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  des Halbleiterelements 184 gebildet wird, und einem Polarisationssteuerelement 193 in dem externen Resonator 197.

Ein Breitstreifen-Halbleiterlaserelement mit einer aktiven InGaN-Schicht, welches Anregungs-Laserlicht aussendet, kann als Halbleiter-Laserelement 190 verwendet werden, wobei die Wellenlänge des Anregungs-Laserlichts zum Beispiel 400 nm beträgt. Das von dem Halbleiter-Laserelement 190 emittierte Anregungs-Laserlicht wird von der Linse 191 in den Halbleiterschichten des Halbleiterelements 184 gesammelt und es regt das Halbleiterelement an. Das von dem Halbleiterelement 184 emittierte Licht schwingt in dem äußeren Resonator 197, demzufolge über den Ausgangsspiegel 194 Laserlicht 196 im 650-nm-Band ausgegeben wird. Darüber hinaus wird die Polarisierung des Laserlichts 194 von dem Polarisationssteuerelement 193 in dem äußeren Resonator 197 gesteuert.

In dem oberflächenemittierenden Halbleiterelement 184 besitzt das optische Mehrschichtfilter 178 aus  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  einen hohen Reflexionsgrad von 90% oder mehr bei der Wellenlänge des Laserlichts 196, hingegen einen Reflexionswert von 5% oder weniger, vorzugsweise 1% oder weniger bei der Wellenlänge des Anregungs-Laserlichts.

Da das GaAs-Substrat 181 das Laserlicht 196 absorbiert, ist es möglich, den Schwingungsmodus dadurch zu kontrollieren, daß man das GaAs-Substrat mit hoher Genauigkeit durch Ätzen oder ähnliches dünner macht und in dem GaAs-Substrat oder in der GaAs-Pufferschicht ein Nadelloch vorsieht.

#### Weitere Gesichtspunkte

(i) Die Halbleiter-Laserelemente zum Emittieren von Anregungs-Laserlicht gemäß der Erfindung sind nicht auf die großflächigen Halbleiter-Laserelemente beschränkt, es können auch Halbleiter-Laserelemente vom Array-Typ, Halbleiterlaser vom a-DFB-Typ (mit verteilter Rückkopplung bei abgewinkeltem Gitter; angled grating-distributed feedback), Halbleiterlaser vom MOPA-Typ (Hauptoszillator-Leistungsverstärker; master oscillator power amplifier) oder andere übliche Halbleiterlaser verwendet werden. Insbesondere ermöglichen MOPA-Halbleiterlaser mit sich verjüngender Struktur eine Lichtbündelung hoher Dichte.

(ii) Obschon bei den oberflächenemittierenden Halbleiterelementen nach den Fig. 2A, 4, 7A, 9A und 11 Antireflexfilme aus Einzelschicht-Dielektrikumfilmen gebildet sind, kann man geringe Reflexionsgrade auch durch Mehrschichtstrukturen erhalten.

(iii) Wenn ein Film transparent für das Schwingungslicht ist und einen gewissen Reflexionsgrad für das Anregungs-Laserlicht aufweist, um an der Austrittsseite des Schwingungslichts des Halbleiterelements angeordnet zu werden, und wenn das Anregungs-Laserlicht dem Halbleiterelement von der Rückseite her zugeführt wird (abgewandt von der Schwingungslicht-Austrittsseite), so läßt sich das oberflächenemittierende Halbleiterelement nicht nur mit einem direkt absorbierten An-

teil des Anregungs-Laserlichts anregen, sondern auch mit einem von dem Film reflektierten Anteil. Wenn daher der Absorptionskoeffizient des oberflächenemittierenden Halbleiterelements für das Anregungs-Laserlicht klein ist, läßt sich das Halbleiterelement effizient mit dem Anregungs-Laserlicht anregen, wenn man den oben angesprochenen Film auf der Austrittsseite für das Schwingungslicht anordnet.

(iv) Außerdem wird hier durch Bezugnahme der Gesamtinhalte der japanischen Patentanmeldungen 11(1999)-257531 und 2000-258857 inkorporiert.

#### Patentansprüche

1. Laservorrichtung, umfassend:  
ein Halbleiterlaserelement, welches erstes Laserlicht mit einer ersten Wellenlänge emittiert;  
ein oberflächenemittierendes Halbleiterelement, welches von dem ersten Laserlicht angeregt wird, welches zweites Laserlicht mit einer zweiten Wellenlänge, die länger ist als die erste Wellenlänge, emittiert, und welches eine erste aktive Schicht und einen ersten Spiegel auf einer Seite der ersten aktiven Schicht aufweist; und  
einen zweiten Spiegel, der außerhalb des oberflächenemittierenden Halbleiterelements derart angeordnet ist, daß der erste und der zweite Spiegel einen Resonator bilden, in welchem das zweite Laserlicht schwingt; wobei das oberflächenemittierende Halbleiterelement eine Struktur zum Steuern eines räumlichen Mode des zweiten Laserlichts aufweist.
2. Laservorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Struktur eine Größe aufweist, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur aufspreizt.
3. Laservorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Struktur durch ein Nadelloch-Raumfilter realisiert wird, das an einer Lichtaustritts-Stirnfläche des oberflächenemittierenden Halbleiterelements angeordnet ist, die ein Nadelloch besitzt und den Durchgang des zweiten, von dem oberflächenemittierenden Halbleiterelement emittierten Laserlichts ausschließlich durch das Nadelloch hindurch ermöglicht.
4. Laservorrichtung nach Anspruch 3, bei der das Nadelloch eine Größe besitzt, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Licht an einer Stelle der Struktur aufspreizt.
5. Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der der zweite Spiegel eine begrenzte Fläche aufweist, parallel zu der Lichtaustritts-Stirnfläche des Halbleiterelements angeordnet ist und die Struktur bildet.
6. Laservorrichtung nach Anspruch 5, bei der der zweite Spiegel eine Größe hat, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur aufweitert.
7. Laservorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die erste aktive Schicht nur in einem begrenzten Bereich in einer Ebene parallel zu der Lichtaustritts-Stirnfläche des oberflächenemittierenden Halbleiterelements ausgebildet ist und die Struktur bildet.
8. Laservorrichtung nach Anspruch 7, bei der die begrenzte Fläche eine Größe aufweist, die 0,1- bis 10-mal so groß ist wie ein Durchmesser, auf den sich das zweite Laserlicht an einer Stelle der Struktur aufweitert.
9. Laservorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend eine Wellenlängenauswahllein-



richtung, die in dem Resonator angeordnet ist.

10. Laservorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend eine Polarisationssteuereinrichtung, die in dem Resonator angeordnet ist.

11. Laservorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Halbleiter-Laserelement eine zweite aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{v1}\text{Ga}_{1-v1}\text{N}$ -Material aufweist und die erste aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{v2}\text{Ga}_{1-v2}\text{N}$ -Material besteht, wobei  $0 < v1 < v2 < 1$ .

12. Laservorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Halbleiterlaserelement eine zweite aktive Schicht aus einem  $\text{InGaN}$ -Material aufweist und die erste aktive Schicht aus einem  $\text{AlGaInP}$ - oder einem  $\text{GaInP}$ -Material gefertigt ist.

13. Laservorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Halbleiter-Laserelement eine zweite aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{w1}\text{Ga}_{1-w1}\text{As}$ -Material aufweist, und die erste aktive Schicht aus einem  $\text{In}_{w2}\text{Ga}_{1-w2}\text{As}$ -Material besteht, wobei  $0 < w1 < w2 < 1$  ist.

---

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

# FIG. 1

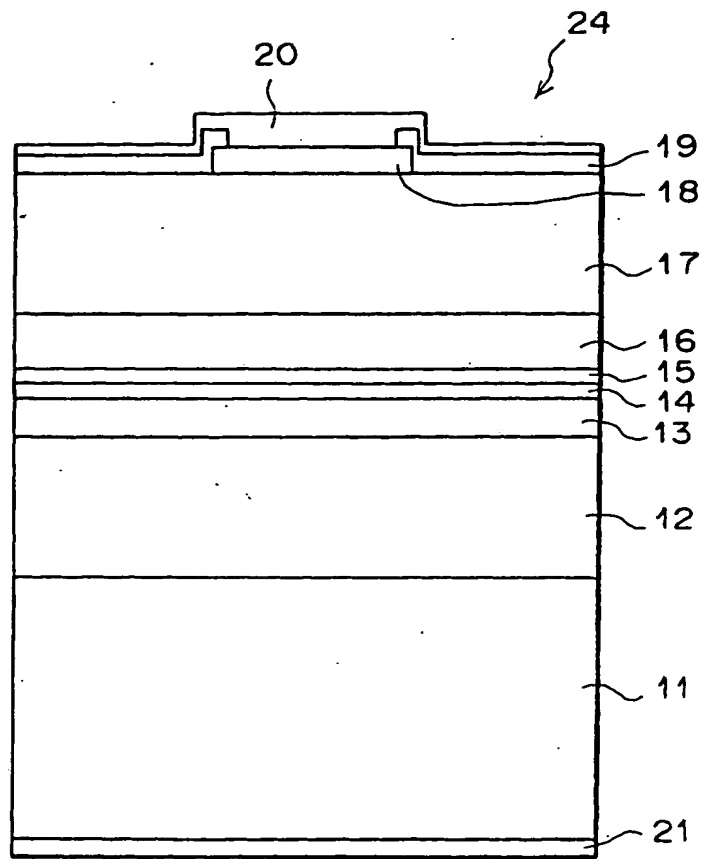


FIG. 2A

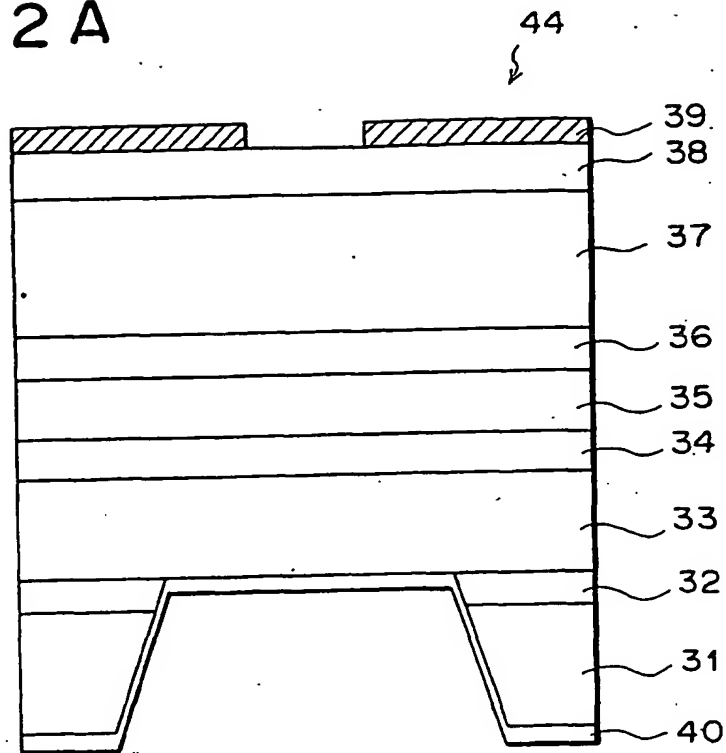
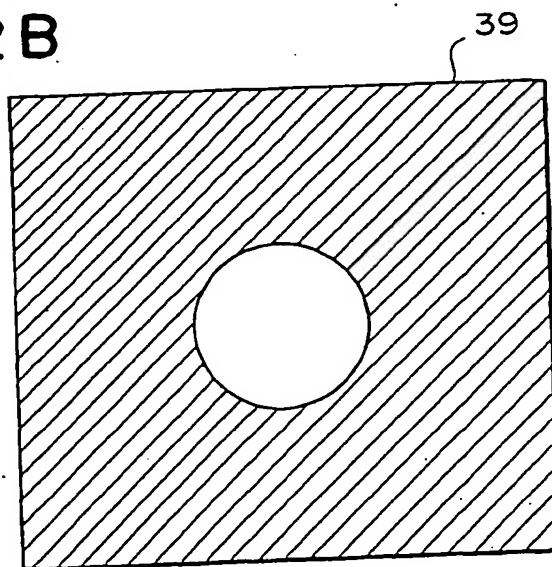


FIG. 2B



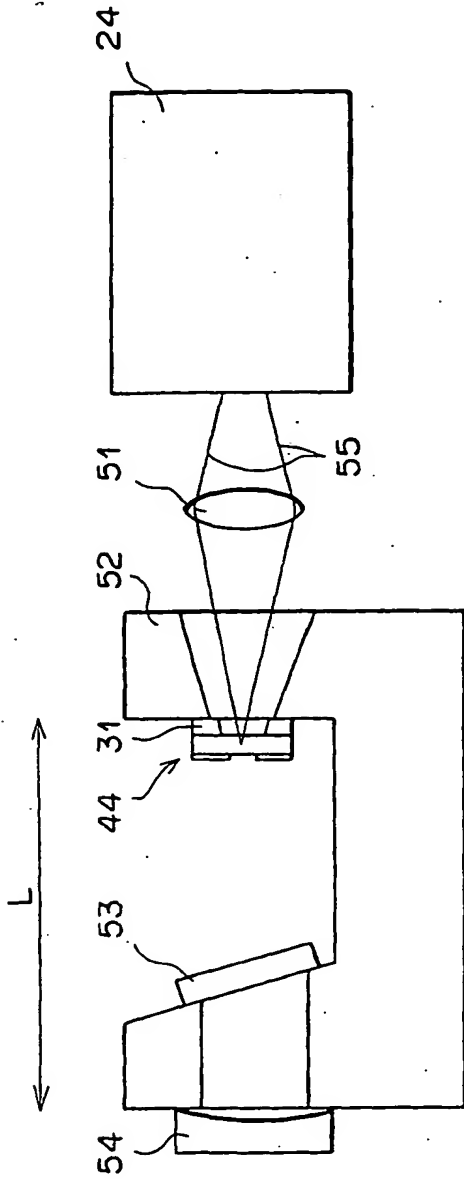


FIG. 3A

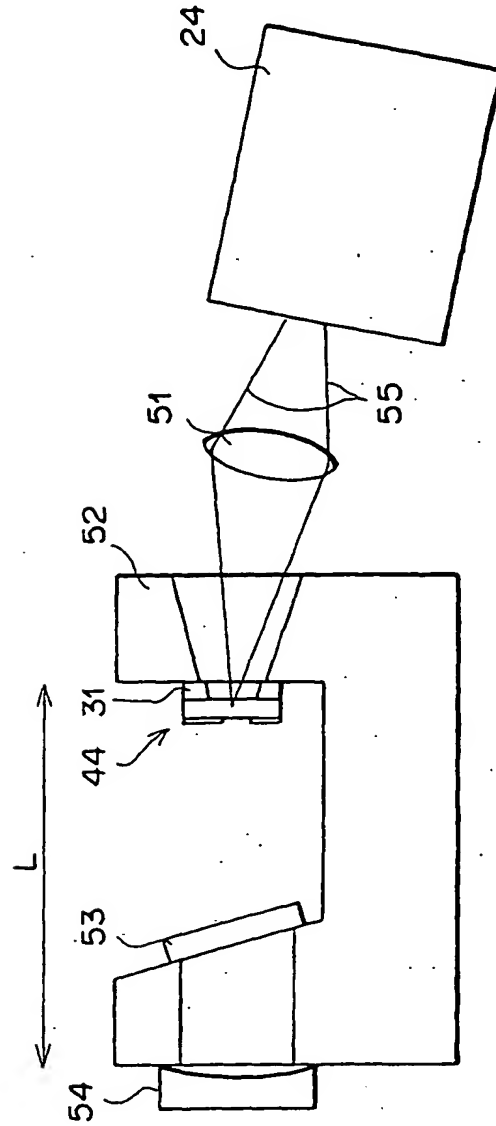
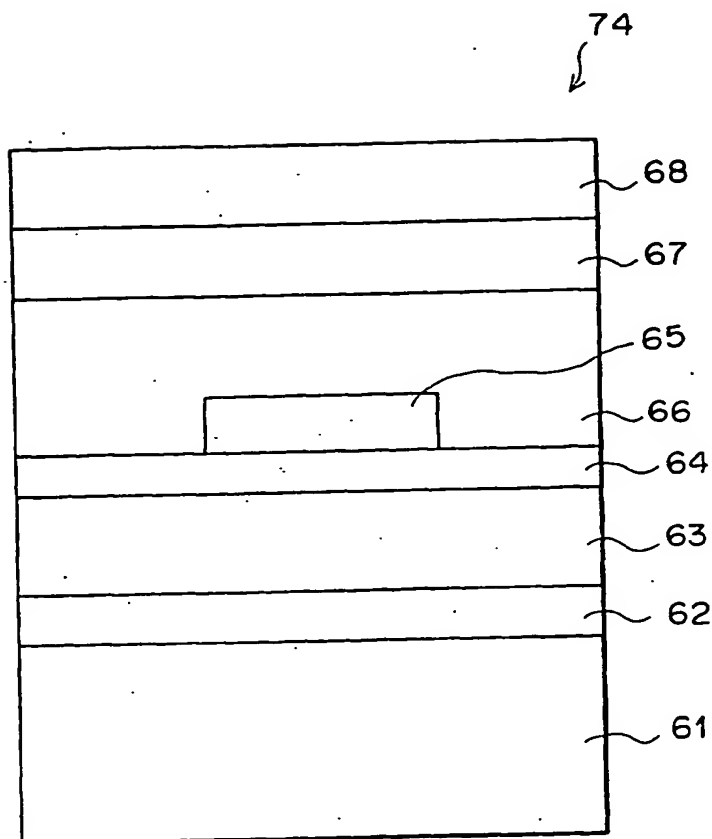


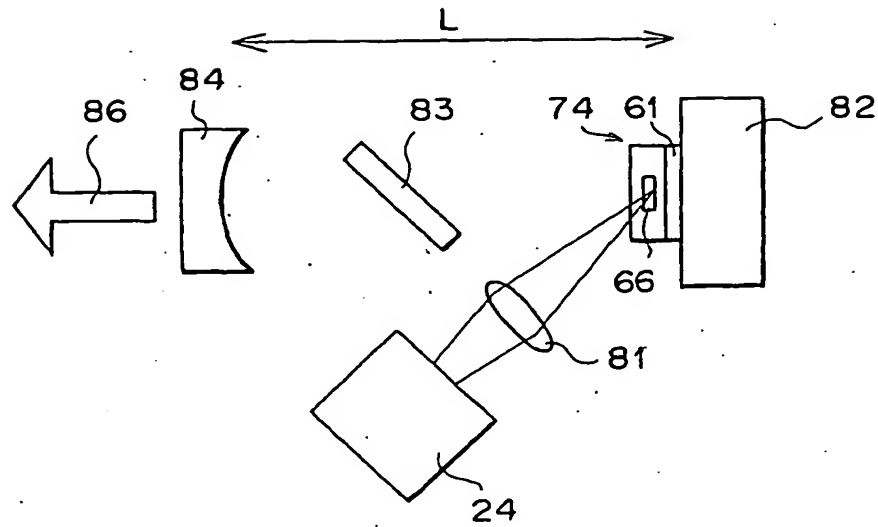
FIG. 3B

F I G . 4





# FIG. 5



F I G . 6

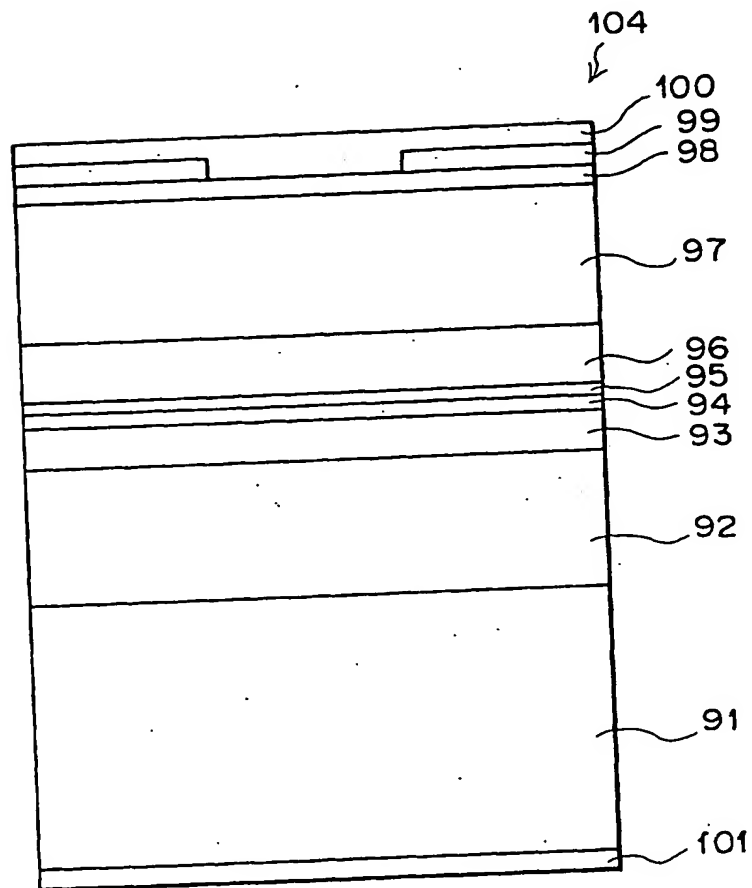


FIG. 7A

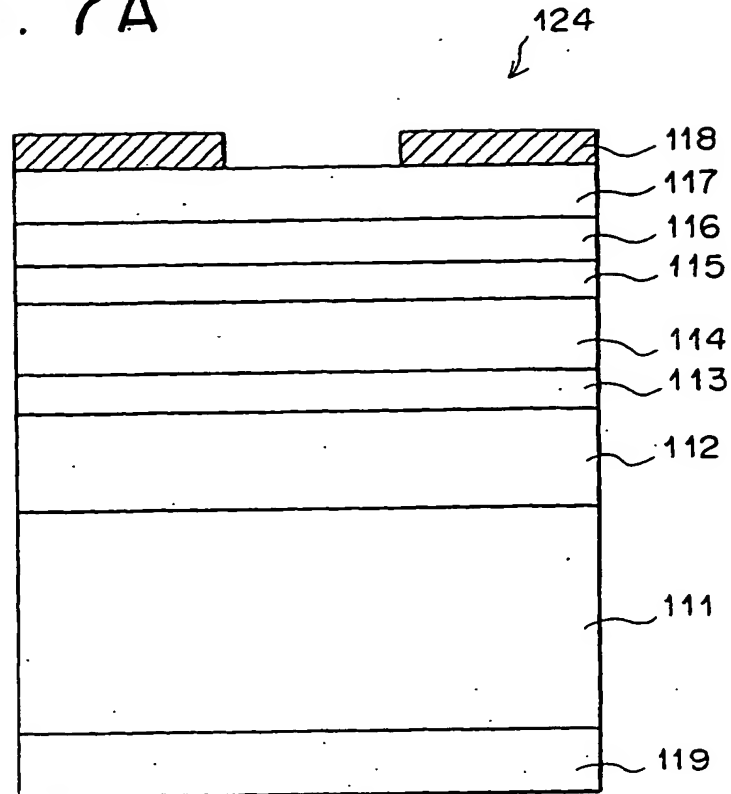
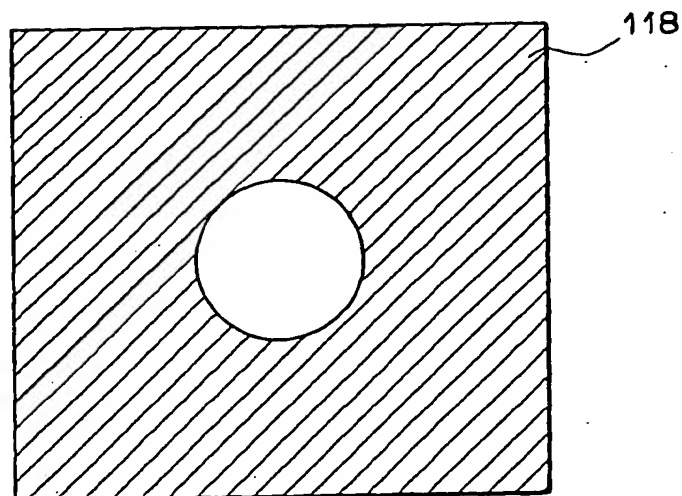
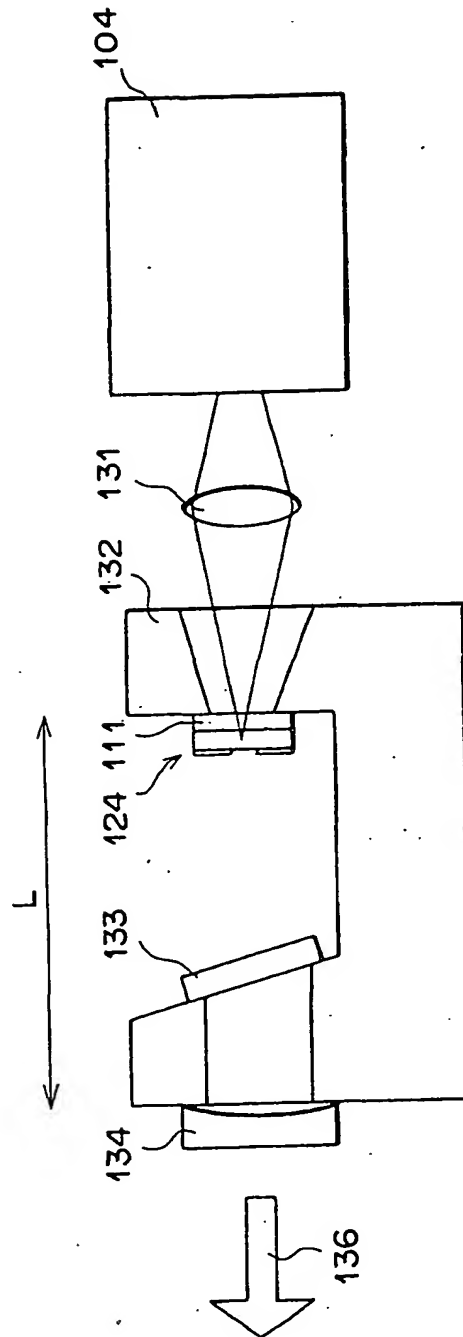


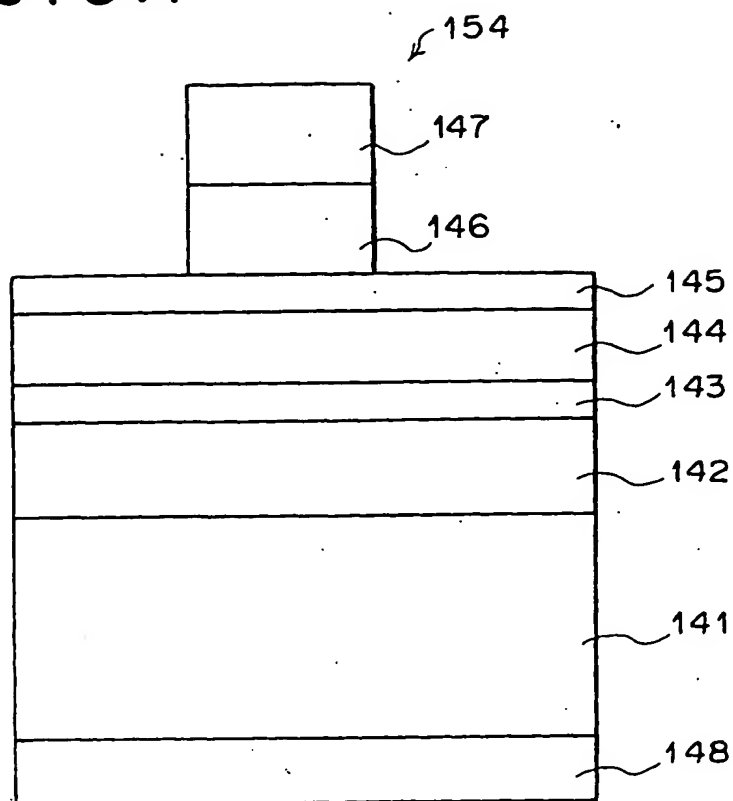
FIG. 7B



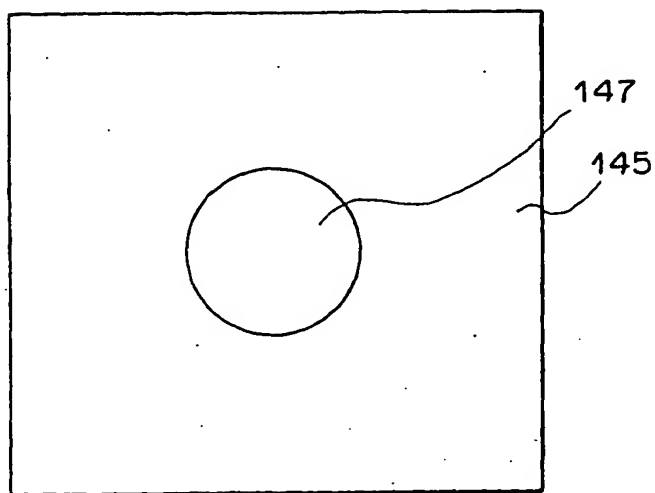
F I G . 8



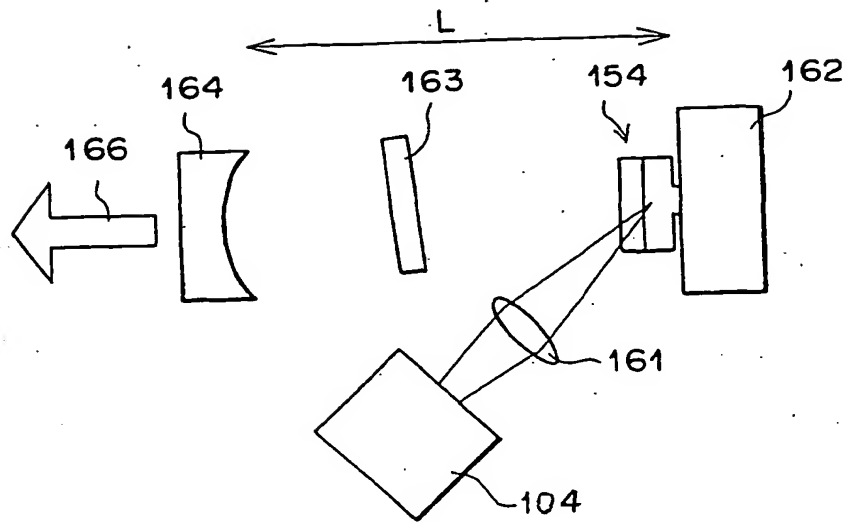
F I G . 9 A



F I G . 9 B



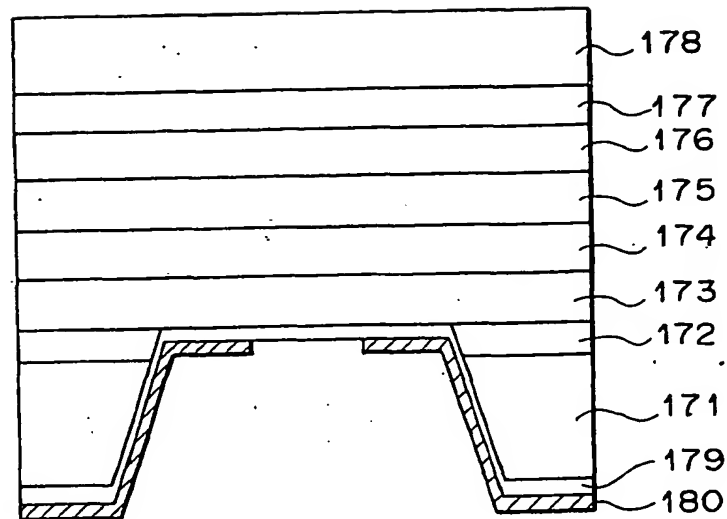
# F I G . 10





F I G. 11

184



F I G . 12

